

PCT ratios as X for 15, 10, 16-18, 22-24  
Y for 4-9, 11, 16-21, 23, 25-26

Japanese Patent Laid-open No. SHO 62-9822 A

Publication date : January 17, 1987

Applicant : Hitachi Zosen K.K.

Title : ELECTROLYTIC COMPOSITE ABRASION METHOD



5

[Embodiments]

Referring to Fig. 4 and thereafter, the following description will discuss embodiments of the present invention.

10 First, referring to Figs. 4 to 6, an explanation will be given of the first embodiment.

Fig. 4 shows an embodiment in which a metallic plane process object (3) is subjected to an abrasion process by using a tool formed by attaching an insulating abrasive material (2) having a visco-elastic property and a water permeable property that is approximated by a four element visco-elastic model shown in Fig. 1 in which a Maxwell element and a Voigt element are series-connected on the entire face of a rotary disc-shape electrode (1).

20 Then, the electrode (1) and the process object (3) are respectively connected to the cathode and anode of a dc power supply (not shown), and while a processing liquid (5) is being supplied to the abrasive material (2) through a hollow section (4) of the electrode (1), the process object  
25 (3) is subjected to an abrasion process by applying the number

\* of revolutions  $N$  to the electrode (1) and the feeding velocity  $v$  to the process object (3).

Therefore, by an electrolytic current flowing from the process object (3) of the anode to the electrode (1) of the cathode through the processing liquid (5) in the abrasive material (2), a metal elution removing function is exerted on the surface of the process object (3), and the abrasive material (2) of the electrode (1) is moved relative to the process object (3) so that abrasive grains of the abrasive material (2) exerts a mechanical function, that is, an abrasive grain frictional function; thus, the surface of the process object (3) is subjected to the abrasive process.

Here, in the above-mentioned embodiment, with respect to the four element visco-elastic model forming the visco-elasticity of the abrasive material (2), Figs. 5 and 6 respectively show the relationship of the elastic modulus  $E_M$  of a spring ( $S_M$ ) of the Maxwell element forming the spontaneous elastic property, the viscosity coefficient  $\eta_M$  of the dash pot ( $D_M$ ) of the Maxwell element forming permanent deformation and the roughness  $R_s$  of the processed surface on the process object (3).

In other words, Fig. 5 shows the relationship between the elastic modulus  $E_M$  and the roughness  $R_s$  of the processed surface at a viscosity coefficient  $\eta_M = 1000$  to  $3000 \text{ kgf} \cdot \text{s/cm}^2$

of the abrasive material (2). In accordance with this Figure, the roughness  $R_s$  shows a uniform value in the range of  $E_M < 500 \text{ kgf/cm}^2$ ; however, in the range of  $E_M > 500 \text{ kgf/cm}^2$ , there are great variations due to the base roughness remaining in recessed sections that is formed because the abrasive grain friction of the abrasive material (2) cannot follow the winding processed surface.

For example, under the condition of #240 abrasive grains, current density  $J = 2 \text{ A/cm}^2$ ,  $R_s = 0.4$  to  $0.5 \mu \text{mRmax}$  in the range of  $E_M < 500 \text{ kgf/cm}^2$ , while  $R_s = 0.4$  to  $2.5 \mu \text{mRmax}$  in the range of  $E_M > 500 \text{ kgf/cm}^2$ . Moreover, under the condition of #1200 abrasive grains, current density  $J = 0.2 \text{ A/cm}^2$ ,  $R_s = 0.06$  to  $0.1 \mu \text{mRmax}$  in the range of  $E_M < 500 \text{ kgf/cm}^2$ , while  $R_s = 0.06$  to  $1 \mu \text{mRmax}$  in the range of  $E_M > 500 \text{ kgf/cm}^2$ .

Moreover, Fig. 6 shows one example of the relationship among the viscosity coefficient  $\eta_M$  of the abrasive material (2), the rate of the depressing pressure  $P$  to the depressing preset initial pressure  $P_0$  to the process object (3), that is, the rate of a reduction of the depressing pressure  $P/P_0$ , and the roughness of the processed surface  $R_s$ .

Here, in the processing method of this type, the gap between the electrode face of the electrode (1) and the processing face of the process object (3) is made constant so that a uniform removing process is carried out over the

entire surface; therefore, in most cases, the abrasive process is carried out while maintaining this gap constant, and for this reason, the depressing pressure P of the abrasive material (2) to the process object (3) is lowered from the  
5 preset initial pressure  $P_0$  as the abrasion time  $t_w$  elapses and the rate  $P/P_0$  of the reduction in the depressing pressure becomes remarkable as the viscosity coefficient  $\eta_M$  becomes smaller, as shown in Fig. 6.

In this case, the lowering in the rate  $P/P_0$  of the  
10 reduction in the depressing pressure causes an imbalance in the composite balance between the metal elution removing function by the electrolytic function and the abrasive grain friction function, resulting in electrolytic pits due to an increase in the electrolytic function and the subsequent  
15 degradation in the processed surface precision. The relationship between this rate  $P/P_0$  of the reduction in the depressing pressure and the roughness in the processed surface  $R_s$  is virtually represented by the example shown in Fig. 6, and under the condition of the viscosity coefficient  
20  $\eta_M < 500 \text{ kgf}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ , the processed face deteriorates as the abrasion time elapses.

For example, in the case of the abrasive material (2) of #800 abrasive grains having an elastic modulus  $E_M = 50 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ , when an abrasive process is carried out under the  
25 condition that a current density  $J = 0.5 \text{ A}/\text{cm}^2$ , the roughness

in the processed surface  $R_s$  is about  $0.1 \mu m R_{max}$  in the range of  $\eta_M < 500 \text{ kgf} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$ , while in the range of  $\eta_M > 500 \text{ kgf} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$ , the processed surface becomes a white cloudy state due to the generation of the pits, failing to obtain a luster face.

5            Therefore, in the above-mentioned embodiment, among the four element visco-elasticity models forming the visco-elasticity of the abrasive material (2), the elastic modulus  $E_M$  and viscosity coefficient  $\eta_M$  of Maxwell elements are respectively set to  $E_M < 500 \text{ kgf}/\text{cm}^2$  and  $\eta_M > 500 \text{ kgf} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$   
10    so that it becomes possible to obtain an efficient removing *removal function*  
property on the surface of the process object (3) as well as a uniform mirror face of not more than  $0.5 \mu m R_{max}$ ; thus, the feature of the present invention is obtained.

15    Fig. 4

Abrasive material

Fig. 6

Rate of reduction in the depressing pressure  $P/P_0$

20    Viscosity coefficient  $\eta_M$

Processed surface roughness  $R_s$

## ⑫ 公開特許公報(A)

昭62-9822

⑪ Int. Cl.<sup>4</sup>

B 23 H 5/00

識別記号

庁内整理番号

H-8308-3C

⑬ 公開 昭和62年(1987)1月17日

審査請求 未請求 発明の数 1 (全5頁)

⑭ 発明の名称 電解複合研磨方法

⑮ 特 願 昭60-148994

⑯ 出 願 昭60(1985)7月5日

⑰ 発 明 者	前 畑	英 彦	大阪市西区江戸堀1丁目6番14号	日立造船株式会社内
⑱ 発 明 者	釜 田	浩	大阪市西区江戸堀1丁目6番14号	日立造船株式会社内
⑲ 発 明 者	大 工	博 之	大阪市西区江戸堀1丁目6番14号	日立造船株式会社内
⑳ 発 明 者	山 本	昌 彦	大阪市西区江戸堀1丁目6番14号	日立造船株式会社内
㉑ 出 願 人	日立造船株式会社		大阪市西区江戸堀1丁目6番14号	
㉒ 代 理 人	弁理士 藤田 龍太郎			

PTO 2003-151

S.T.I.C. Translations Branch

## 明 細 書

## 1 発 明 の 名 称

電解複合研磨方法

## 2 特 許 請 求 の 範 囲

① 電解作用による金属溶出除去作用と該作用を補助する砥粒擦過作用とを複合した電解複合研磨方法において、前記砥粒擦過作用を与える研磨材の要件として、マクスウェル要素とフォークト要素とを結合した粘弾性模型で近似される粘弾性を有するとともに、前記マクスウェル要素を構成する弾性係数  $E_M$  および粘性係数  $\eta_M$  がそれぞれ  $E_M < 500 \text{ kgf/cm}^2$  および  $\eta_M > 500 \text{ kgf} \cdot \text{s/cm}^2$  の条件を有することを特徴とする電解複合研磨方法。

## 3 発 明 の 詳 細 な 説 明

〔産業上の利用分野〕

この発明は、電解作用による金属溶出除去作用と砥粒擦過作用とを複合して金属工作物を研磨加工する電解複合研磨方法に関する。

〔従来の技術〕

従来では、金属工作物を仕上げ加工する場合、

電解研磨法や電解研削法が用いられている。

しかし、前者の電解研磨法では、酸性加工液および液温管理等の作業上の配慮が要求され、しかも、電流密度分布の不均一さにより安定した均一面を得ることが困難であること等から、1~3 S 程度の下地面から  $0.5 \mu\text{mRmax}$  以下のあらさに仕上げる方法としては、除去速度および仕上面の均一性の点で効率、効果上多くの問題を有している。

また、後者の電解研削法の場合、電解作用に機械的な砥粒作用を複合させて加工する方法とし古くから提案されているが、この方法は剛体砥石を用いて生産性を重視した加工を目的とするものであり、 $0.5 \mu\text{mRmax}$  以下のあらさの鏡面を得る方法としては適切ではなく、仕上面のあらさはあまり期待できない欠点がある。

〔発明が解決しようとする問題点〕

そこで、この発明においては、効率良い除去性を有するとともに、仕上面を均一に  $0.5 \mu\text{mRmax}$  以下のあらさの鏡面に仕上げ得る手段を提供することを技術的課題とする。

## 〔問題点を解決するための手段〕

この発明は、電解作用による金属溶出除去作用と該作用を補助する砥粒擦過作用とを複合した電解複合研摩方法において、前記砥粒擦過作用を与える研摩材の要件として、マクスウェル要素とフォークト要素とを結合した第1図に示されるような粘弾性模型で近似される粘弾性を有するとともに、前記マクスウェル要素を構成する弾性係数 $E_M$ および粘性係数 $\eta_M$ がそれぞれ $E_M < 500 \text{ kgf/cm}^2$  および  $\eta_M > 500 \text{ kgf} \cdot \text{s/cm}^2$  の条件を有することを特徴とするものである。

## 〔作用〕

つぎに、前記手段の作用について説明する。

まず、第2図はマクスウェル要素と称される粘弾性模型を示し、同図(a)に示すように、弾性係数 $E_M$ のばね( $S_M$ )と粘性係数 $\eta_M$ の液体中を動くダッシュポット( $D_M$ )とを直列に結合して構成され、その力学的性質は、同図(b)に示すように、荷重を与えた初期時にはばね( $S_M$ )による瞬時弾性歪みを生じるとともに、その後、荷重を取り除くまでダ

性を示し、 $t_1$ 時に荷重を取り除くと、ばね( $S_M$ )による瞬時弾性およびばね( $S_V$ )とダッシュポット( $D_V$ )とによる遅延弾性で元の状態に戻ろうとするが、ダッシュポット( $D_M$ )により永久歪みが残る特性を有している。

そして、前記3つの粘弾性模型による粘弾性特性をそれぞれ研摩材の要件とした場合、まず、マクスウェル要素の粘弾性では、瞬時弾性を有するものの研摩時間とともに永久変形が増大するため、電解作用の補助作用として与える砥粒擦過作用への適用には課題が大きすぎ、フォークト要素の粘弾性では、研摩荷重に対する弾性および復元性を有するものの、遅延弾性特性を有するため、砥粒擦過速度に制約を受け、電解作用との適正バランス条件範囲が極めて小さくなる。

一方、マクスウェル要素とフォークト要素との結合による四要素粘弾性模型では、その瞬時弾性特性により研摩材が工作物の下地形状の細かい凹凸に追従し、この特性に対し隣在する遅延弾性特性により下地形状の大きなうねり成分の選択除去

ッシュポット( $D_M$ )によりクリープ挙動し、荷重を取り除いた $t_1$ 時、その時点で瞬時弾性歪みで元の状態に戻ろうとするがダッシュポット( $D_M$ )による永久歪みが残る特性を有している。

また、第3図はフォークト要素と称される粘弾性模型を示し、同図(a)に示すように、弾性係数 $E_V$ のばね( $S_V$ )と粘性係数 $\eta_V$ の液体中を動くダッシュポット( $D_V$ )とを並列に結合して構成され、その力学的性質は、同図(b)に示すように、荷重を与えた初期時には瞬時弾性はみられないが時間とともに遅れを持つて一定値に飽和しようとする歪み特性を有し、 $t_1$ 時に荷重を取り除いた場合も同様にして元の状態に戻る。

つぎに、前記マクスウェル要素とフォークト要素とを直列結合してなる第1図(a)に示すような四要素粘弾性模型では、同図(b)に示すように、荷重を与えた初期時にはばね( $S_M$ )による瞬時弾性を示し、時間経過とともにダッシュポット( $D_M$ )によるクリープ挙動とばね( $S_V$ )およびダッシュポット( $D_V$ )による遅延弾性歪みとが重畳した歪み特

効果が得られ、反面、研摩時間とともに永久変形が残るが、ダッシュポット( $D_M$ )の粘性係数 $\eta_M$ を適正值に選択することによりこの永久歪み量を減少にすることが可能となる。

したがって、この発明の電解複合研摩方法では、金属溶出除去作用を与える研摩材がマクスウェル要素と<sup>フォークト要素と</sup>を結合した四要素粘弾性模型で近似される粘弾性を有することにより、研摩材が工作物の下地形状の細かい凹凸に追従し、研摩電極の電極形状精度が緩和されるとともに、研摩装置精度および剛性の緩和、研摩電極工具の大面积化、自由曲面への適用性大等の効果が得られ、加えて、隣在する遅延弾性特性により下地形状の大きなうねり成分の選択除去効果が得られ、効率良い除去性、均一な仕上面が得られることになる。

さらに、前記マクスウェル要素の弾性係数 $E_M$ 、粘性係数 $\eta_M$ がそれぞれ、 $E_M < 500 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $\eta_M > 500 \text{ kgf} \cdot \text{s/cm}^2$  の条件を有することにより、研摩材の砥粒擦過作用が加工面のうねりに確実に追従し、均一な加工面あらさが得られるとともに、

研摩材の研摩時間に伴う永久歪みが微少になつて加工面への押付圧低下が抑制され、高精度、すなわち  $0.5\mu\text{mRmax}$  以下のあらさの鏡面加工が可能となる。

#### 〔実施例〕

つぎに、この発明を、その実施例を示した第4図以下の図面とともに詳細に説明する。

まず、1実施例を示した第4図ないし第6図について説明する。

第4図は、回転円盤形電極(1)の全面に、マクスウェル要素とフォークト要素とを直列結合した第1図に示す四要素粘弾性模型で近似される粘弾性を有する通水性かつ絶縁性の研摩材(2)を装着してなる工具を用いて金属性平面工作物(3)を研摩加工する実施例を示したものである。

そして、電極(1)および工作物(3)をそれぞれ直流電源(図示せず)の陰極および陽極に接続するとともに、電極(1)の中空部(4)を通して研摩材(2)に加工液(5)を供給しながら、電極(1)に回転数  $N$  および工作物(3)に対する送り速度  $v$  を与えて工作物(3)を

研摩材(2)の砥粒擦過が加工面のうねりに追従できず、凹部に下地あらさが残存するため、大きくばらついている。

たとえば、 $\#240$ 砥粒、電流密度  $J=2\text{A}/\text{cm}^2$  の条件では、 $E_M<500\text{kgf}/\text{cm}^2$  の範囲で  $R_s=0.4\sim0.5\mu\text{mRmax}$  であるのに対し、 $E_M>500\text{kgf}/\text{cm}^2$  の範囲では  $R_s=0.4\sim2.5\mu\text{mRmax}$  となり、また、 $\#1200$  砥粒、 $J=0.2\text{A}/\text{cm}^2$  の条件では、 $E_M<500\text{kgf}/\text{cm}^2$  の範囲で  $R_s=0.06\sim0.1\mu\text{mRmax}$  であるのに対し、 $E_M>500\text{kgf}/\text{cm}^2$  の範囲では  $R_s=0.06\sim1\mu\text{mRmax}$  となつている。

さらに、第6図に示すものは、研摩材(2)の粘性係数  $\eta_M$  と、工作物(3)への押付設定初期圧  $P_0$  に対する押付圧  $P$  の比、すなわち押付圧の低下割合  $P/P_0$  および加工面あらさ  $R_s$  との関係の一例である。

ここで、この種加工法では、電極(1)の電極面と工作物(3)の加工面との間隙を一定にすることによつて全面にわたつて均一に加工除去できることから、この間隙を一定にして研摩することが多く、そのために、研摩材(2)の工作物(3)への押付圧  $P$  は

研摩加工する。

したがつて、陽極の工作物(3)から研摩材(2)中の加工液(5)を通つて陰極の電極(1)に流れる電解電流により、工作物(3)表面に金属溶出除去作用を生じ、合わせて電極(1)の研摩材(2)が工作物(3)に対し相対的に移動することにより、研摩材(2)の砥粒による機械的作用、すなわち砥粒擦過作用が生じ、工作物(3)表面が研摩加工される。

ところで、第5図および第6図はそれぞれ、前記実施例において、研摩材(2)の粘弾性を構成する四要素粘弾性模型のうち、瞬時弾性特性を形成するマクスウェル要素のばね ( $S_M$ ) の弾性係数  $E_M$  および永久変形を形成するマクスウェル要素のダッシュポット ( $D_M$ ) の粘性係数  $\eta_M$  と工作物(3)における加工面あらさ  $R_s$  との関係をまとめたものである。

すなわち、第5図に示すものは、研摩材(2)の粘性係数  $\eta_M=1000\sim3000\text{kgf}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$  における弾性係数  $E_M$  と加工面あらさ  $R_s$  との関係である。これによると、あらさ  $R_s$  は、 $E_M<500\text{kgf}/\text{cm}^2$  の範囲で均一な値を示すが、 $E_M>500\text{kgf}/\text{cm}^2$  の範囲では、

研摩時間  $t_w$  の経過とともに設定初期圧  $P_0$  から低下していくことになり、また、この押付圧の低下割合  $P/P_0$  は第6図に示すように粘性係数  $\eta_M$  が小さいほど顕著になる。

一方、押付圧の低下割合  $P/P_0$  の低下は、電解作用による金属溶出除去作用と砥粒擦過作用との複合バランスの不均衡を招き、電解作用が大になることにより電解ピットを生成し、加工面精度を低下する結果となる。この低下割合  $P/P_0$  と加工面あらさ  $R_s$  との関係は概ね第6図に示した例で代表され、粘性係数  $\eta_M<500\text{kgf}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$  の条件で、研摩時間とともに加工面が低下することになる。

たとえば、弾性係数  $E_M=50\text{kgf}/\text{cm}^2$ 、 $\#800$  砥粒の研摩材(2)において、電流密度  $J=0.5\text{A}/\text{cm}^2$  の条件で研摩加工を行なつた場合、 $\eta_M<500\text{kgf}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$  の範囲では加工面あらさ  $R_s$  が  $0.1\mu\text{mRmax}$  前後であるのに対し、 $\eta_M>500\text{kgf}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$  の範囲では加工面がピット発生により日濁化し、光沢面が得られなくなつていく。

したがつて、前記実施例において、研摩材(2)の



粘弾性を構成する四要素粘弾性模型のうち、マクスウェル要素の弾性係数  $E_M$  および粘性係数  $\eta_M$  を、それぞれ  $E_M < 500 \text{ kgf/cm}^2$  および  $\eta_M > 500 \text{ kgf} \cdot \text{s/cm}^2$  とすれば、工作物(3)表面の効率良い除去性のもとより均一に  $0.5 \mu\text{m} R_{\text{max}}$  以下のあらさの鏡面を得ることができ、この発明の特徴とするところである。

つぎに、他の実施例をそれぞれ示した第7図および第8図について説明する。

まず、第7図に示すものは、自由曲面を有する工作物(6)を電解複合研摩する実施例であり、回転円盤形電極(7)を工作物(6)の凹面形状に合わせて凸面形状とし、これに通水性、絶縁性を有するとともに前記実施例の研摩材(2)と同様の要件を備えた研摩材(8)を装着し、電極(7)を陰極、工作物(6)を陽極とするとともに、電極(7)の中空部(9)を通して加工液(10)を研摩材(8)に供給しながら電極(7)に回転数  $N$  および送り速度  $V$  を与えて工作物(6)を研摩加工するものである。

ここで、電極(7)の形状として工作物(6)の曲面に

#### ( 発明の効果 )

以上のように、この発明の電解複合研摩方法によると、効率良い除去性を得ることができるとともに、仕上面を均一に  $0.5 \mu\text{m} R_{\text{max}}$  以下のあらさの鏡面に仕上げるができる特有の効果を得ることができるものであり、さらに、この電解複合研摩を大面積平面や円筒内外面および自由曲面に容易に適用し得る効果を有するものである。

#### 4 図面の簡単な説明

第1図はこの発明の電解複合研摩方法が適用される四要素粘弾性模型を示し、同図(a)は構成図、同図(b)は歪み特性図、第2図および第3図はそれぞれマクスウェル要素およびフォークト要素の粘弾性模型を示し、それぞれの(a)は構成図、それぞれの(b)は歪み特性図、第4図以下の図面はこの発明の電解複合研摩方法の実施例を示し、第4図ないし第6図は1実施例を示し、第4図は研摩時の一部切断正面図、第5図は弾性係数  $E_M$  に対する加工面あらさ  $R_s$  の特性図、第6図は粘性係数  $\eta_M$  に対する押付圧の低下割合  $P/P_0$  および加工面あらさ  $R_s$

応じたものを使用すれば加工性は良いが、工作物(6)の曲面の曲率半径が大きい場合、研摩材(8)の粘弾性特性によつては電極(7)が平面形状であっても研摩加工が可能である。

また、第8図に示すものは、円筒工作物(11)の外面を電解複合研摩する実施例であり、工作物(11)の外径とはほぼ同一径の凹面を有する電極(12)を用い、これに通水性、絶縁性を有するとともに前記研摩材(2)と同様の要件を備えた研摩材(13)を装着し、電極(12)を陰極、工作物(11)を陽極とするとともに、電極(12)の中空部(14)を通して研摩材(13)に加工液(15)を供給しながら、工作物(11)に回転数  $N$  を与えて該工作物(11)を研摩加工するものである。

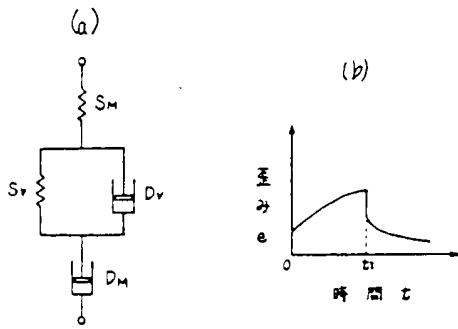
したがって、これら実施例は、いずれも研摩材(2)、(8)、13が所定の粘弾性特性を有することによつて、その電極(1)、(7)、12の形状精度が緩和され、研摩装置機構も通常使用されているボール盤や旋盤程度の精度を有しておれば十分であり、これらの既設機械を容易に改造して研摩することが可能となる。

の特性図、第7図は他の実施例の研摩時の一部切断正面図、第8図はさらに他の実施例の研摩時の正面図である。

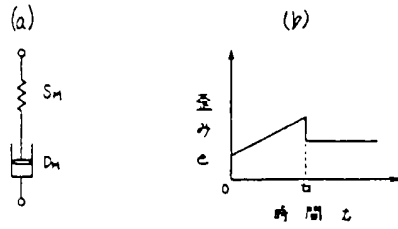
(2)、(8)、13…研摩材。

代理人 弁理士 藤田 龍太郎

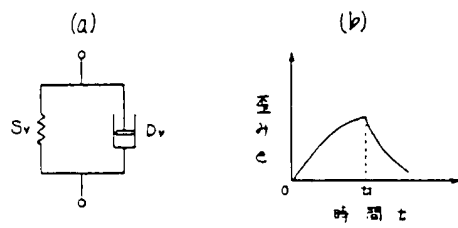
第 1 図



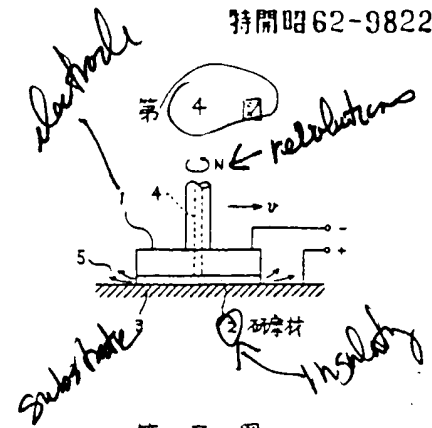
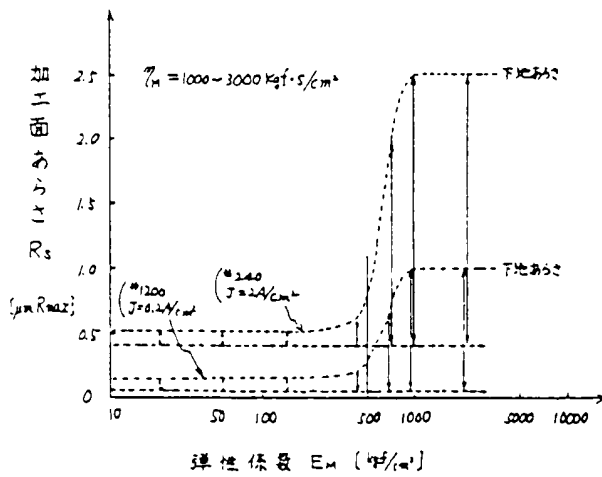
第 2 図



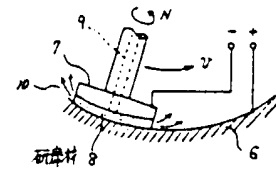
第 3 図



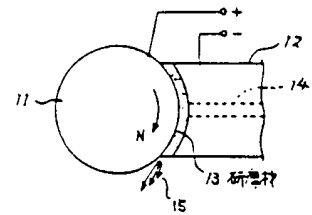
第 5 図



第 7 図



第 8 図



第 6 図

